



ACTION A.1: Development of national integrated model for river basin management

Kansallinen integroitu malli

Sirkka Tattari¹ & Leena Finér²

¹Suomen ympäristökeskus SYKE, Helsinki, Suomi

²Luonnonvarakeskus LUKE, Joensuu, Suomi

A1 kansallinen integroitu malli (National Integrated Model NIM)

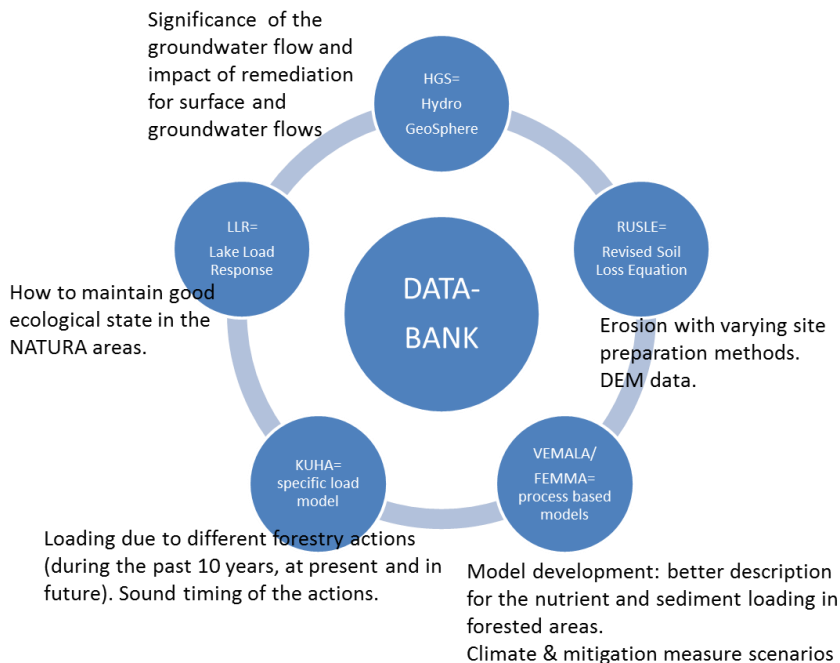
NIM= kuvaus siitä, miten tieto liikkuu tietolähteistä malleihin, malleista toiseen ja lopulta päätöksenteon tueksi. NIM on koko valtakunnassa käyttöön otettavissa oleva metsäalueille soveltuva malliperhe. Se yhdistää valuma-alueelta tulevan kuormituksen vesistöjen tilaan vaikuttaviin prosesseihin. Se tuottaa tietoa valuma-alue suunnittelua varten ja esittää keinot ja toimenpiteet, joiden avulla vesistöjen tavoitteen mukainen tila voidaan säilyttää tai saavuttaa.

Rajaus: Malliperhe soveltuu parhaiten metsäisille alueille, ja sillä lasketaan veden liikkeitä ja tilaa sekä kokonaistyyppi-, fosfori- ja kiintoainekuormitusta.



Abstract: The National Integrated Model (NIM) is a description of data flow from information sources to models, between models and finally to support decision-making. It is a 'family of different modeling tools' to be deployed in the forested areas. It combines the loading of nutrients and sediment from the terrestrial part of the catchment with the ecological status of the receiving water body. It provides information for planning forest operations and presents the means and measures to enable the good status of the water body.

The 'model family' NIM suits best for the calculation of water, sediment and nutrient fluxes from the terrestrial part of the catchment to the receiving water body in forested areas. It also includes a tool to estimate the ecological status of the water body (see figure below and the model descriptions in the literature part).



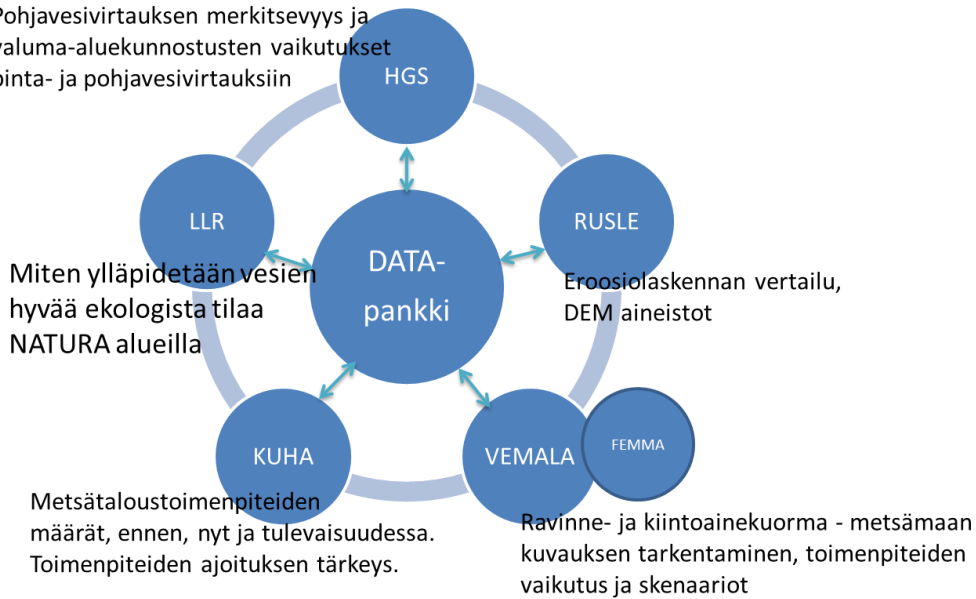
Malliperhe metsäisille alueille

Mallinnuksen ja hyvän lähtötiedon avulla tunnistetaan kuormituksen syntymisen kannalta tärkeimmät alueet. Tämän tiedon avulla vesiensuojelutoimenpiteet voidaan kohdentaa kustannustehokkaalla tavalla, joka mahdollistaa myös hyvän ekologisen tilan saavuttamisen vesistöissä. Kuvassa 1 on esitetty malliperheeseen sisältyvät mallit. Kullakin mallilla on oma erillinen tehtävänsä ja kaikkia niitä joko kehitetään tai sovelletaan uusille alueille tässä hankkeessa.

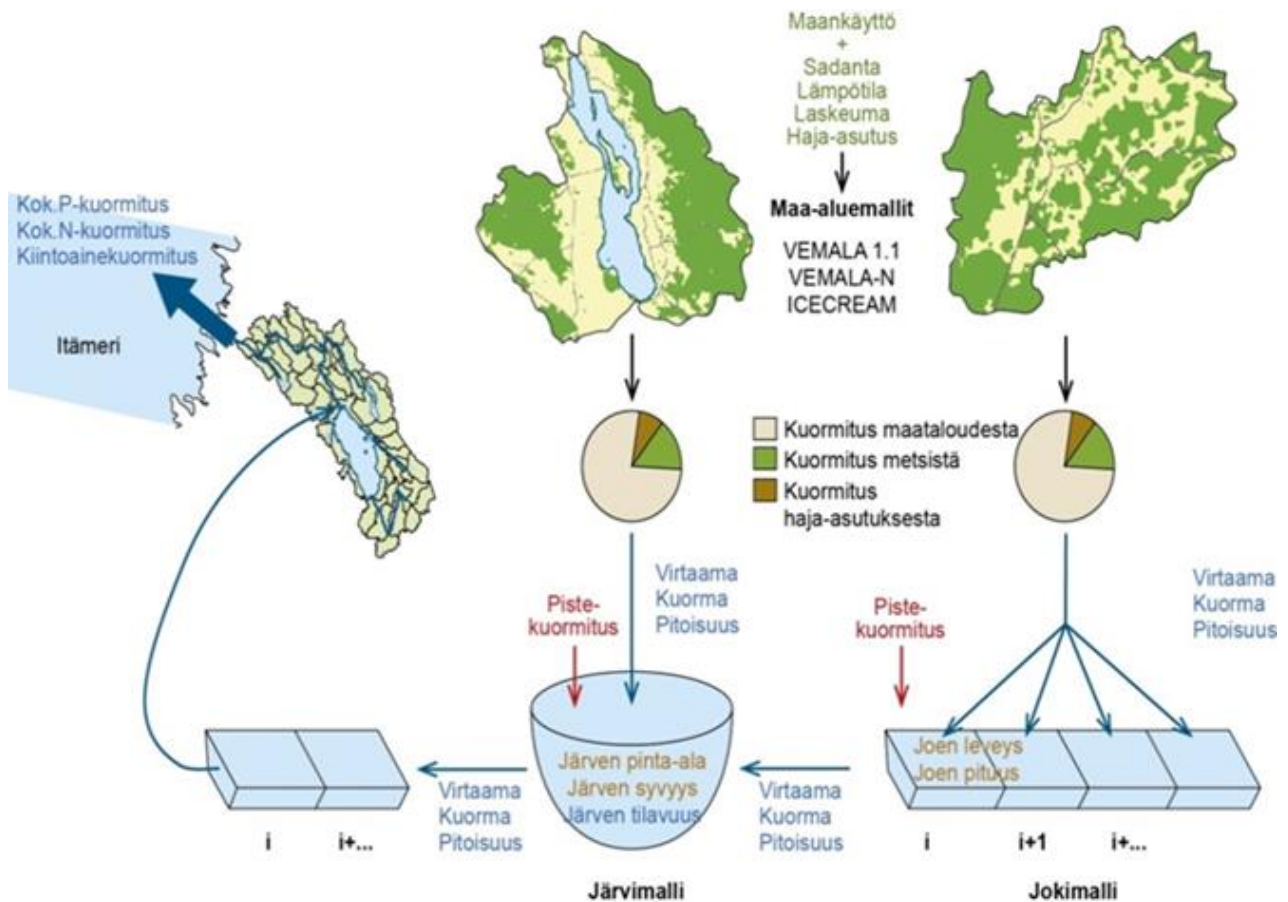
VEMALA (Huttunen ym. 2015) on Vesistömallijärjestelmään liitetty vedenlaatuosio, joka laskee fosfori-, typpi- ja kiintoainekuormitusta vesistöihin maa-alueilta ja aineiden kulkeutumista vesistöissä (Kuva 2). Jokaiselle järvelle on jaettu oma valuma-alue, joka on jaettu edelleen peltoalueeseen, vesialueeseen ja muuhun maa-alueeseen (metsät). Mallissa on määritelty järvien hierarkia. Malli toimii yhden vuorokauden aika-askeleella, tulokset ovat laajasti käytössä esim. VPD työssä.



Pohjavesivirtauksen merkittävyys ja valuma-aluekunnostusten vaikutukset pinta- ja pohjavesivirtauksiin



Kuva 1. NIM malliperhe.



Kuva 2. VEMALA mallin kaaviokuva.

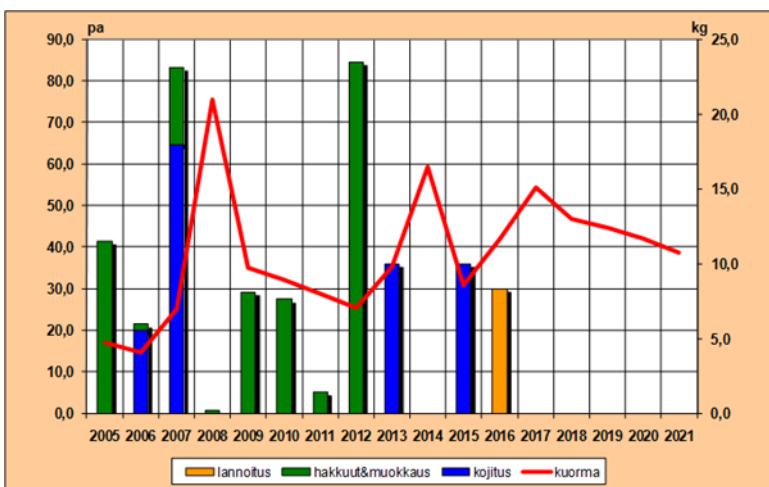


VEMALA-FEMMA

Tässä hankkeessa VEMALAAan sisällytetään GIS-tietokannan kanssa toimiva metsän vesi- ja ravinnevirtamalli (FEMMA). Metsämaan rakenne parametrisoidaan käyttäen rasterimuotoista valtakunnan metsien inventointidataa yhdistettynä tietoon maaperästä ja kasvupaikan ravinteisuudesta. Metsänhoitotoimenpiteitä ei saada vaaditussa mittakaavassa ja siksi metsämaan kehitysaste ja tieto tehdyistä toimenpiteistä on kuvattu ns. Forest Area Cluster:illa (FAC), jotka ovat abstrakteja laskennallisia yksiköitä ilman nimenomaista paikkaa valuma-alueella. GIS-pohjainen FAC tietokanta lasketaan prosessipohjaisessa FEMMA mallissa. Tässä hankkeessa luodaan VEMALAn ja FEMMAN väliseen tuloksen siirtoon tarvittava tietokantaliitännä. Aineiden kulkeutuminen yksinkertaistetaan siten, että etsitään empiirisesti purkautumiskerroin, joka kuvaa maan vapaan ravinnevaraston siirtymistä vesistöön pohjaveden pinnan funktiona. Yhdistetyllä FEMMA-VEMALA kuormitusmallilla lasketaan vesimuodostumalle tulevan kuorman määrä nykytilanteessa ennen vesiensuojelutoimenpiteiden toteutusta. Mallia sovelletaan pilottialueilla jatkossa erilaisten toimenpide- ja ilmastoskenaarioiden tuottamiseen. Soveltaminen tapahtuu vuorovaikutuksessa valuma-aluesuunnittelijoiden kanssa.

KUHA

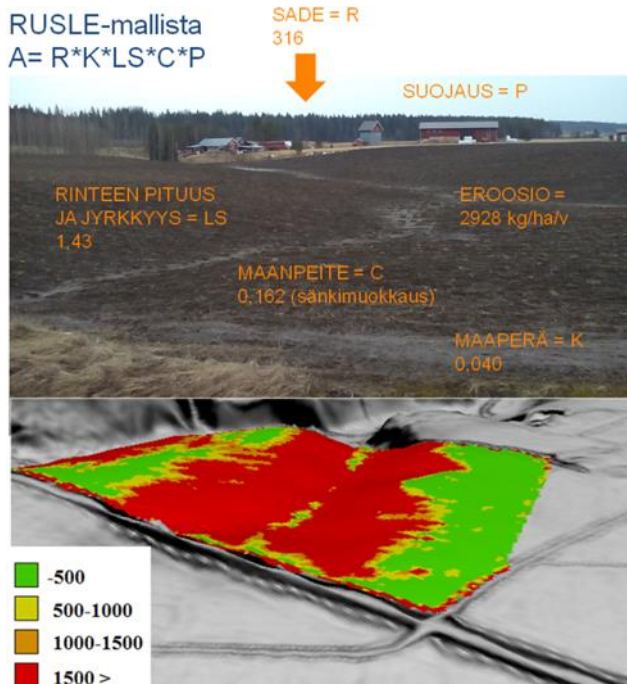
KUHA malli (Kuva 3) (Hiltunen ym. 2015) auttaa tunnistamaan kuormituksen kannalta tärkeät ja vähemmän tärkeät (toimenpide)alueet. Tavoitteena FH-A1:ssa on KUHAN toiminnallisuuden ja käytettävyyden kehittäminen (integraatio paikkatietoaineistoihin) sekä tulosten käytön edistäminen osana valuma-aluesuunnittelua sekä metsien käytön suunnittelua. Mallilla voidaan myös arvioida toimenpiteen toteutumisajankohdan vaikutuksia kokonaiskuormaan. Mallin tuloksena saadaan vesistöön päätyvä laskennallinen typpi-, fosfori- ja kiintoainekuormitus, sekä mahdollinen suositus vesiensuojelun tehostamisen tarpeesta.



Kuva 3. KUHA mallin kiintoainetuloja eri toimenpiteiden vaikutuksesta (pystyakseleilla toimenpiteen pinta-ala ha ja kuorma kg) v. 2005-2016.

RUSLE

RUSLE (Revised Soil Loss Equation) (Kuva 4), Amerikassa kehitetty eroosiomalli on Suomen oloihin säädetty karttapohjainen, peruslohko/koekenttä tasolla toimiva eroosiomalli. Mallilla voidaan laskea pintavirtausta useilla eri algoritmeilla ja virtausta voidaan ohjata käytetyn muokkaussuunnan mukaan. Mallia on toistaiseksi Suomessa hyödynnetty peltolohkoilla, mutta tässä hankkeessa mallin käyttö laajennetaan metsäpuolelle uudistamishakkuiden vaikutusten arviointiin. RUSLE:n tuloksia verrataan sekä VEMALAn että KUHAN eroosioarvioihin. RUSLE mallin muuttujien muodostamisessa voidaan hyödyntää olemassa olevaa aineistoa. Suurimmat tutkimus- ja kehittämistarpeet liittyvät mallin maanpeitettä kuvaavan muuttujan (C) ja ihmistoimintaa kuvaavan muuttujan (P) muodostamiseen, siten että ne kuvaavat hakkuissa ja ennen kaikkea maanmuokkauksen nykykäytäntöjä. C:n muodostamisessa tarkastellaan mahdollisuutta muodostaa muuttuja suoraan laserkeilausperusteista korkeusmallista. Mallin tuloksia verrataan myös metsän uudistamisaloilta mitattuihin kiintoainepitoisuuksiin. RUSLE mallinnus tehdään toteutetuille ja suunnitelluille uudistamisaloille.



Kuva 4. RUSLE mallin tuloksia

LLR

LLR mallilla (Kotamäki ym. 2015, Kuva 5) lasketaan se typpi- ja fosforikuorman määrä, jolla hyvä ekologinen tila voidaan saavuttaa (tavoitekuorma). Malliin tarvitaan tarkasteltavan vesimuodostuman keskisyvyys, tilavuus ja pintavesityyppi sekä mahdollisimman pitkät havaitut aikasarjat tulevasta kuormituksesta, lähtövirtaamasta ja edustavimman syvänteen ravinnepitoisuuksista. Lisäksi tarvitaan arvio sisäisen kuormituksen suuruusluokasta. Tällöin vesimuodostumaan tuleva kuorma – tavoitekuorma = kuormituksen vähentämistavoite valuma-aluesuunnittelua varten. LLR on vapaasti saatavissa verkosta (www.vesinetti.fi). Mallia voi soveltaa sekä yksittäiselle järvelle että ison järven osaan, jos sen yläpuolinen valuma-alue on tarkasti rajattavissa. Tässä hankkeessa LLR mallilla arvioidaan vesimuodostuman ekologisen tilan paranemista/huononemista kun ulkoinen kuormitus kasvaa tai miten ulkoista kuormitusta voidaan vähentää vesiensuojelutoimilla. Mallilla voidaan myös arvioida miten paljon ulkoista kuormitusta voidaan lisätä vesimuodostuman säilyttäessä vielä hyvän tai erinomaisen tilan. Mallitulokset joko tukevat toimenpidesuunnitelmaan valittujen vesiensuojelutoimenpiteiden valintaa tai toimenpiteiden määrä ei ole vielä riittävä. Joissakin tapauksissa sisäisen kuormituksen osuus voi olla niin suuri ettei hyvää tilaa saavuteta vaikka ulkoista kuormitusta vähennettäisiin merkittävästikin. Malli antaa myös ulkoisen kuormituksen luotettavuusrajat.

LakeLoadResponse LLR

SYKE
LLR etusivu

LakeState
WISER
GisBloom

Vesinetti

Tietoa malleista
Koulutusmateriaalia

WISER-LLR / in
english

Internet-työkalu vesistöalueiden hoidon suunnittelijoille

Työkalun avulla voidaan ennustaa, kuinka paljon järveen tulevan kuormituksen määrää tulisi vähentää hyvän vedenlaadun saavuttamiseksi.

Aloita valitsemalla jokin seuraavista painikkeista sen mukaan, millä perusteella lasket järven tavoitekuormia.

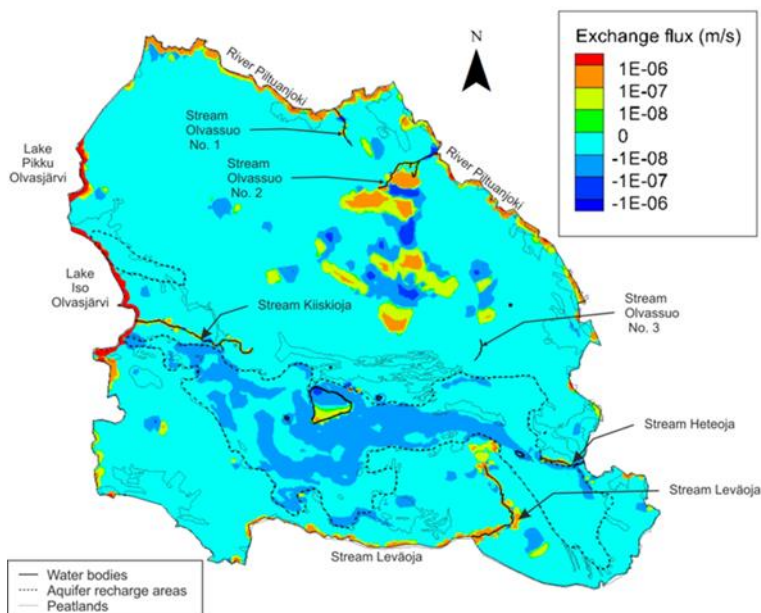
Tavoitekuorma kokonaisfosforin H/T luokkarajan perusteella	Ohje
Tavoitekuorma kokonaistypen H/T luokkarajan perusteella	Ohje
Tavoitekuorma kokonaisfosforin ja -typen H/T luokkarajojen perusteella	Ohje
Tavoitekuorma a-klorofyllin H/T luokkarajan perusteella	Ohje
Tavoitekuorma kasviplanktonbiomassan H/T luokkarajan perusteella	Ohje

Kuva 5. LLR mallin netistä löytyvä käyttöliittymä www.vesinetti.fi. (vaatii rekisteröitymisen).



HydroGeoSphere malli HGS

Monissa malleissa pohjavesivirtauksen kuvaus on puutteellista ja tähän hankkeeseen sisältyy täysin integroitu fysikaalinen malli HGS (Kuva 6), joka laskee pintavesien, pohjavesien sekä osittain kyllästyneen maakerroksen virtaukset ja vuorovaikutuksen (Rossi ym. 2012). Laskennan tuloksena saadaan maan vesipitoisuus, virtaamat, vedenkorkeudet ja viipymät valuma-alueen eri osissa. Malliin ei toistaiseksi ole sisällytetty aineiden kulkeumaa tai pidättymistä. HGS mallin avulla saadaan tarkkaa tietoa veden viipymistä alueen eri osissa ja sen tuloksia voidaan hyödyntää esim. operatiivisen VEMALA mallin kehitystyössä. Tässä hankkeessa HGS mallin tuloksia verrataan VEMALAn tuloksiin. VEMALAssa pohjavesivirtauksen kuvaus on huomattavasti yksinkertaisempi kuin HGS:n vastaava.



Kuva 6. HGS mallin tulos veden viipymästä alueen eri osissa. Kuvassa punaiset ja oranssit alueet ovat pohjavedenpurkautumisalueita.

KUTOVA

KUTOVA (Hjerpe & Väisänen, 2015) eli kustannustehokkaiden toimenpiteiden valintatyökalu, jonka avulla voidaan arvioida eri toimenpiteiden kustannustehokkuutta ja niillä saavutettavissa olevaa fosforikuormituksen vähenemää niin maatalouden, metsätalouden, haja-asutuksen kuin turvetuotannon osalta. Sitä voidaan käyttää myös muodostettaessa kustannustehokkaita toimenpideyhdistelmiä ja laskettaessa valittujen toimenpiteiden kustannuksia sekä yhteisvaikutuksia kuormitukseen. KUTOVAa kehitetään MMM:n rahoittamassa KiertoVesi hankkeessa, ja sen työn tuloksia on mahdollista hyödyntää myös tässä hankkeessa. Mallin soveltaminen tämän hankkeen pilottilueille vaatii lisärahoitusta, jota ei ole vielä saatu.

DATAPANKKI

Hankkeessa kerätään erilaista aineistoa avoimista tietolähteistä tai luodaan linkit tietolähteisiin (esim. sää, puusto, metsän käsittely, maaperä ja muuta GIS aineistoa). Pilottiluokkien mallitulokset saatetaan avoimesti valuma-alue suunnittelijoiden käyttöön.

Valuma-alue suunnittelu ja mallintaja yhteistyössä

Mallien käyttöä käytännön valuma-alue suunnittelussa on esitetty kuvassa 7. Kuvasta havaitaan, että mallin käytön on iteratiivinen prosessi, jossa tuloksia ja niiden käytettävyyttä/hyväksyttävyyttä arvioidaan useaan kertaan koko suunnitteluprosessin aikana. Ensiarvoisen tärkeää on jatkuva vuoropuhelu suunnittelijoiden ja mallintajien välillä, koska silloin mallitulokset on paremmin hyväksyttävissä ja mallitulokset myös ymmärretään paremmin. Tässä hankkeessa tavoitteena on tuoda mallit tutuiksi



käytännön työhön ja ottaa ne mukaan suunnitteluun yhtenä työkaluna muiden kenttäkelpoisten menetelmien joukossa. Tärkeää on myös tiedostaa, että malleilla saadaan tietoa myös toimenpiteiden vaikutuksista muuttuvassa maan käytössä ja ilmastossa, mitä muilla menetelmillä ei käytännössä pystytä arvioimaan. Tässä hankkeessa käydään läpi seuraavat vaiheet:

Ensimmäinen vaihe

Käytännössä valuma-alue suunnittelija tuottaa olemassa olevilla työkaluilla paikallisen näkemyksen mahdollisista keinoista, joilla ulkoista kuormitusta voidaan vähentää.

Toinen vaihe

Tässä hankkeessa suunniteltujen toimenpiteiden vaikutuksia arvioidaan kuormitusmalleilla (VEMALA-FEMMA, KUHA, RUSLE). Malleilla arvioidaan myös kuormitusta muuttuneessa ilmastossa sekä useiden toimenpiteiden toteutusajankohdan vaikutusta kuormitukseen ja vesimuodostuman tilaan. Periaatteessa käytössä on kahdenlaisia mallinnuksia: vesimuodostuman valuma-alueen mallit, joiden avulla määritellään vesiensuojelun tavoitteita, lasketaan vesistöön tulevaa kuormaa ja testataan erilaisia toimenpideyhdistelmien vaikutuksia vesistön tilaan. Toisen ryhmän mallinnuksia muodostavat sitten operatiivista toimintaa tukevat mallit. Tässä painopiste on yksittäisten metsätaloustoimenpiteiden suunnittelumittakaavassa eli mallinnuksen avulla pyritään tuottamaan tietoa, jota voidaan hyödyntää yksittäisten vesiensuojelutoimenpiteiden tai metsätalouden toimenpiteiden suunnittelun mittakaavassa (esim. syöpyykö oja jos se perataan tai kuinka leveä suojavyöhyke kuviolla tarvitaan). Tällä tasolla hyödyntämiskelpoista tietoa tuottavia malleja ovat esim. RUSLE, jolla voidaan arvioida päätehakkuiden aiheuttamaa eroosioriskiä tai suunnitella hakuja niin, ettei kuormitus nouse merkittäväksi vesien tilan kannalta.

Kolmas vaihe

Mallitulokset esitetään tämän jälkeen valuma-alue suunnittelijoille ja he tarkastelevat ehdotettujen ratkaisujen toimivuutta. Valuma-alue suunnittelija yhdistää oman tietämyksensä mallien antamiin tuloksiin ja arvioi näiden perusteella vesiensuojelutoimenpiteiden käytännön toimivuutta. Koska eri mallien tulokset todennäköisesti poikkeavat toisistaan, suunnittelija saa lisäinformaatiota niihin liittyvästä epävarmuudesta. Jos mallitulokset ovat epäuskottavia tai epärealistisia, malliajot voidaan uusiksi esim. korvaamalla virheellisiä lähtötietoja. Jos mallin prosessikuvauksissa on parannettavaa, niiden korjaamisen toteuttaminen ei todennäköisesti onnistu hankkeessa, vaan käytännön suunnittelu etenee niillä tiedoilla, jotka ovat saatavilla.

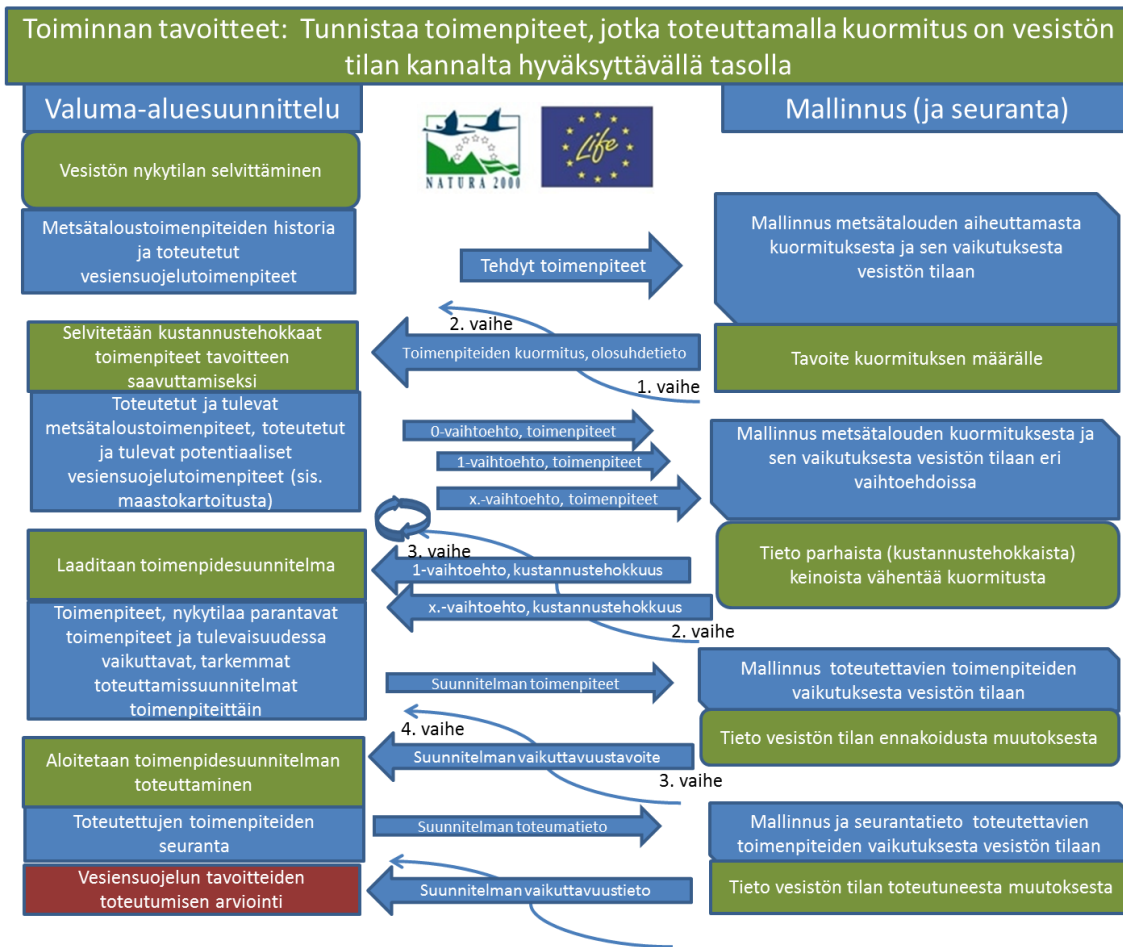
Mallien sisältämät metsätalous- ja vesiensuojelutoimenpiteet

Vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuksia malleissa on kuvattu vaihtelevasti. Taulukkoon 1 on koottu tämän hankkeen malleihin sisältyvien yleisimpien metsätaloustoimenpiteiden laskentamenetelmien kuvauksia. Taulukosta 1 käy ilmi, että kuvaukset vaihtelevat fyysikaalisen prosessin kuvauksesta asiantuntijan tekemään arvioon. Vähiten malleissa on kuvattu pintavalutuskenttien, kosteikkojen ja laskeutumisalaiden vaikutuksia. KUHA laskelmissa käytetyt ominaiskuormitusluvut on tuotettu olettaen, että vesiensuojelusta on huolehdittu kivennäismaiden metsänuudistuksessa jättämällä suojakaistoja vesistöjen varsille ja kunnostusojituksessa rakentamalla laskeutusaltaita. Prosessipohjaiset mallit mahdollistavat useimpien toimenpiteiden laskennan, useimmiten kuitenkin implisiittisesti (viitteellisesti, epäsuorasti) kun taas arviointijärjestelmät käyttävät yleisesti mittauksista saatuja ominaiskuormituslukuja toimenpiteen vaikutuksen arviointiin. RUSLE:n laskenta sisältää ainoastaan eroosion, ja HGS malli tässä hankkeessa keskittyy vain hydrologian mallintamiseen.



Taulukko 1. Mallien sisältämien metsätalous- ja vesiensuojelutoimenpiteiden kuvaukset.

Toimenpide	VELALA (N, P & ka)	FEMMA (N, P & ka)	HGS (hydrologia)	KUHA (N, P & ka)	RUSLE (eroosio)
<i>Kunnostusojitus</i>	Ominaiskuormitusluvut perustuvat Tattari & Linjama, 2004. Ojitukset perustuvat Metsätalastolliseen vuosikirjaan.	Kuvataan ravinnekiertojen kautta, kiintoaine ominaiskonsentraatioiden ja valunnan avulla.	Voidaan laskennallisesti todentaa kunnostusojituksen vaikutus alueen hydrologiaan	Perustuu Finér ym. 2010 ominaiskuormituslukuihin. Maalajin vaikutus kunnostusojituksen aiheuttamaan kuormaan perustuu Joensuu (2002).	Voidaan arvioida, mutta laskenta on teoreettinen, jos uusi uoma on hyvin erilainen vanhaan verraten (LS-tekijä), DEM
<i>Soiden ennallistaminen</i>	-	Voidaan mallintaa valunta ja fosfori. Kiintoainetta ja typpeä ei.	Laskennallisesti voidaan todeta oijen tukkimisen vaikutus alueen vesittymiseen ja veden virtauksiin		-
<i>Päätehakkuut</i>	Ominaiskuormitusluvut perustuvat Tattari & Linjama, 2004. Hakkuut perustuvat metsätalastolliseen vuosikirjaan.	Lasketaan ravinnekiertojen kautta, kiintoaine ominaiskonsentraatioiden ja valunnan avulla.	Päätehakkuun vaikutus vesien virtaukseen tulee haihduntakomponentin kautta.	Kaltevuuden & maalajin vaikutus eroosioon on tehty asiantuntija-arviona.	Soveltaen, C-tekijää, P-tekijää ja LS-tekijää: eroosio t/ha/v
<i>Suojavyöhykkeet</i>	Suojavyöhykkeiden vaikutuksia mallinnetaan ICECREAM mallilla peltolohkoille. Metsäalueille ei ole kuvausta.	Implisiittisesti kuvaa suojavyöhykkeitä, mutta lähinnä toimenpiteen sijoittuminen suhteessa vesistöön	Suojavyöhykkeiden vaikutus virtausreitihin ja alueen vesikorkeuksiin voidaan laskennallisesti mallilla todeta, mutta ravinnepidätyksiä ei voida suoraan huomioida.	Suojavyöhykkeiden pidätys tehty asiantuntija-arviona.	Maatalousmaalle vakiona, metsämaalle soveltaen, P-tekijää: eroosio t/ha/v
<i>Kosteikot</i>	1) Automaattinen algoritmi etsii hyviä kosteikkopaikkoja. 2. Ravinteiden ja kiintoaineen viipymä lasketaan altaan koon mukaan.	-	-	-	-
<i>Laskeutusaltaat</i>				Asiantuntija-arvio	
<i>Pintavalutuskentät</i>	-	-	-	Asiantuntija-arvio	-
<i>Metsälannoitus</i>	Metsien typpilannoitus voidaan laskea samalla rutiinilla kuin vastaavien maatalousalueiden N-lannoitus.	Voidaan laskea ravinnekiertojen kautta.	Ei mukana FH:ssa käytössä olevassa malliversiossa, mutta sinänsä mallissa voidaan ainekulkeuman kautta huomioida.		-



Kuva 7. Kaaviokuva valuma-alue suunnittelun ja mallinnuksen linkityksestä yhteen.

Kirjallisuusviitteet:

Finér, L., Mattsson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiaho, H., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola, S., Vuollekoski, M. 2010. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. Suomen ympäristö 10/2010, 33 s.

Joensuu, S. 2002. Effects of ditch network maintenance and sedimentation ponds on export loads of suspended solids and nutrients from peatland forests. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 868:1-83 + 4 liitettä.

Timo Hiltunen, Juha Jämsén, Samuli Joensuu, Kaisa Heikkinen, Martti Vuollekoski, 2014. Opas metsätalouden vesiensuojelun suunnitteluun valuma-alue tasolla. TASO hankkeen julkaisuja <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BB4D051AA-B2A5-4FED-9E57-91045CB5418C%7D/97048>

Hjerpe, T., Väisänen, S. 2015. A practical tool for selecting cost-effective combinations of phosphorus loading mitigation measures in Finnish catchments. International Journal of River Basin Management 2015; 13 (3): 363-376

Huttunen, I., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M., Lepistö, A., Räike, Tattari, S., Vehviläinen, B. 2016. A National-Scale Nutrient Loading Model for Finnish Watersheds-VEMALA. Environmental Modeling and Assessment 2016; 21 (1): 83-109.



Kotamäki, N., Pätynen, A., Taskinen, A., Huttula, T., Malve O. 2015. Statistical dimensioning of nutrient loading reduction : LLR assessment tool for lake managers. *Environmental management* 2015; 56 (2): 480-491.

Laurén, A., Finér, L , Koivusalo, H., Kokkonen, T., Karvonen, T., Kellomäki, S., Mannerkoski, H. and Ahtiainen, M. 2005. Water and nitrogen processes along a typical water flowpath and streamwater exports from a forested catchment and changes after clear- cutting: a modelling study. *Hydrology and Earth System Sciences*. 9(6):657-674.

Lilja, Harri; Turtola, Eila; Hyväluoma, Jari; Hakala, Oiva; Puustinen, Markku; Uusi-Kämppeä, Jaana
Julkaisuaika: 2014. Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus : karttojen kattavuus ja käyttömahdollisuudet. MTT Raportti 133, 40 s + liite.

Rossi, P. M., Ala-aho, P., Ronkanen, A.-K. and Kløve, B., 2012. Groundwater–surface water interaction between an esker aquifer and a drained fen. *Journal of Hydrology*, 432, pp. 52–60.

Tattari, Sirkka & Linjama Jarmo, 2004. Vesistöalueen kuormituksen arviointi. *Vesitalous* 3/2004:26-30.